

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Přístrojové vybavení letadel 1 – výukový program předmětu**

**Aircraft Instrumentation 1 – Tutorial Article**

Student:

Kateřina Lašáková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Kateřina Lašáková**  
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy  
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy  
Téma: **Přístrojové vybavení letadel 1 - výukový program předmětu  
Aircraft Instrumentation 1 - Tutorial Article**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza problémů předmětu Přístrojové vybavení letadel 1
2. Výběr problémů předmětu Přístrojové vybavení letadel 1
3. Návrh a realizace výukového programu pro demonstraci předmětu Přístrojové vybavení letadel 1

Cíl BP: Návrh a realizace výukového programu pro výuku předmětu Přístrojové vybavení letadel 1.

Seznam doporučené odborné literatury:

Kulčák. L.: Učebnice pilota, Svět křidel. 2011  
Kulčák. L.: Učebnice pilota vrtulníka, Svět křidel. 2011  
Martinec.F.: Přednášky pro výuku 2012. VŠB - TU Ostrava  
Vít, M.: Výukový program WORD MANAGER. 2012.  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDukov%C3%BD\\_program](http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDukov%C3%BD_program)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 13.5.2013.....

Štěpánka Kateřina.....

podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 13.5.2013.....

*Lašáková Kateřina*

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Kateřina Lašáková

Adresa trvalého bydliště autora práce: Tovární 338, Ryžoviště 793 56

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

LAŠÁKOVÁ, K. *Přístrojové vybavení letadel 1 – výukový program předmětu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, institut dopravy, 2013. 51 s. Vedoucí práce: Martinec, F.

Bakalářská práce se zabývá vypracováním a tvorbou výukového programu do předmětu Přístrojové vybavení letadel 1. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V první části jsou popsány základní principy o přístrojích a za druhou část je brán výukový program. Praktická část by měla podpořit motivaci a představivost studenta o pohybech, přenosu údajů a funkčnosti přístrojů, pomocí videa a prezentace. Program je tvořen na míru podle osnovy předmětu.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

LAŠÁKOVÁ, K. *Aircraft Instrumentation 1 – Tutorial Article: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 51 p. Thesis head: Martinec, F.

The bachelor thesis deals with designing and actual generation of an educational software for Aircraft Instrumentation 1 subject. The thesis consists of two main parts. The first part describes the basic principles of the aircraft equipment and the second one is the software itself. The practical part should motivate the student and help him to comprehend and visualize the movements, data transfer, and instrument functionality by means of videos and presentations. The software is made to fit a particular syllabus of this subject.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<b>Zkratka</b>	<b>Anglický výraz</b>	<b>Český výraz</b>
CAS	Calibrate air speed	Kalibrovaná rychlost
CD	Compact disk	Kompaktní disk
CRT	Cathode ray tube	Katodová trubice
EAS	Equivalent air speed	Ekvivalentní rychlost
ECAC	European civil aviation conference	Evropské sdružení civilního letectví
GPS	Global positioning systém	Globální polohovací systém
GS	Ground speed	Traťová rychlost
IAS	Indicated air speed	Indikovaná rychlost
ICAO	International civil aviation organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
ISA	International standard atmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
JAA	Joint aviation authorities	Sdružené letecké úřady
JAR	Joint aviation requirements	
LCD	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
Ma		Machovo číslo
MSA		Mezinárodní standardní atmosféra
PFD	Primary fly display	Primární letový displej
QFE	Atmospheric pressure at aerodrome elevation	Atmosférický tlak vztažený k výšce letiště nad mořem
QNH	Altimeter sub-scale setting obtain elevation when on the ground	Nastavení tlakové stupnice výškoměru pro získání výšky nad mořem bodu, který je na zemi
TAS	True air speed	Pravá vzdušná rychlost

### Seznam použitých symbolů:

$g$	standardní tíhové zrychlení
$g_0$	gravitační zrychlení
$H$	výška
$p_0$	absolutní tlak vzduchu stanovený MSA
$p_{celk}$	celkový tlak
$p_{stat}$	statický tlak
$q$	dynamický tlak
$r$	plynová konstanta vzduchu
$T_0$	teplota vzduchu stanovená MSA
$V$	rychlost
$V_{FE}$	maximální rychlost pro let s otevřenými vztlačovými klapkami
$V_{LE}$	maximální rychlost pro let s otevřeným podvozkem

$V_{LO}$	maximální rychlost pro ovládání podvozku
$V_{NE}$	maximální přípustná rychlost
$V_{NO}$	maximální cestovní rychlost
$V_{S1}$	pádová rychlost při násobku 1 při selhání motoru
$V_{SO}$	rychlost při násobku 1 v přistávací konfiguraci
$V_{YSE}$	rychlost pro největší rychlost stoupání při letu na jeden motor
$V_{z0}$	rychlost vzduchu stanovená MSA
$\alpha$	vertikální teplotní gradient
$\rho_0$	hustota vzduchu stanovená MSA

## OBSAH

<b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 VÝVOJ LETECTVÍ.....</b>	<b>12</b>
<b>2 HISTORICKÝ VÝVOJ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ .....</b>	<b>13</b>
2.1 PŘÍSTROJE NULTÉ GENERACE .....	13
2.2 PŘÍSTROJE PRVNÍ GENERACE .....	13
2.3 PŘÍSTROJE DRUHÉ GENERACE .....	13
2.4 PŘÍSTROJE TŘETÍ GENERACE.....	14
<b>3 POŽADAVKY NA PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ .....</b>	<b>15</b>
<b>4 ROZDĚLENÍ PALUBNÍCH PŘÍSTROJŮ.....</b>	<b>17</b>
4.1 PALUBNÍ DESKY LETADEL .....	18
4.2 PITOT-STATICKE PŘÍSTROJE.....	20
4.3 GYROSKOPICKÉ PŘÍSTROJE.....	20
4.3.1 Gyroskop respektive setrvačník .....	20
4.3.2 Gyrovertikála .....	21
4.3.3 Gyrohorizontála .....	21
4.4 KOMPASY.....	21
<b>5 AERODYNAMICKÉ SÍLY .....</b>	<b>22</b>
5.1 ZÁKLADNÍ JEDNOTKY .....	22
<b>6 PITOTOVA TRUBICE.....</b>	<b>24</b>
6.1 PRINCIP A KONSTRUKCE PITOTOVY TRUBICE.....	24
6.2 CHYBY PŘÍSTROJE.....	25
6.3 ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR.....	26
<b>7 VÝŠKOMĚR.....</b>	<b>27</b>
7.1 PRINCIP BAROMETRICKÉHO VÝŠKOMĚRU .....	27
7.2 KONSTRUKCE VÝŠKOMĚRU .....	28
7.3 ODEČÍTÁNÍ Z PŘÍSTROJE.....	28
7.4 CHYBY VÝŠKOMĚRU .....	29
7.5 ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR.....	29
<b>8 RYCHLOMĚR.....</b>	<b>30</b>
8.1 DEFINICE RYCHLOSTI LETU .....	30
8.2 PRINCIP A KONSTRUKCE RYCHLOMĚRU .....	30
8.3 ŠTUPNICE RYCHLOMĚRU .....	32
8.3.1 Vysvětlení významných rychlostí.....	33
8.4 ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR.....	33
<b>9 VARIOMETR .....</b>	<b>34</b>
9.1 PRINCIP A KONSTRUKCE VARIOMETRU MEMBRÁNOVÉHO.....	34
9.2 PRINCIP A KONSTRUKCE Klapkového VARIOMETRU .....	35
9.3 CHYBY VARIOMETRU .....	36
9.4 ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR.....	36



<b>10</b>	<b>UMĚLÝ HORIZONT .....</b>	<b>37</b>
10.1	PRINCIP A KONSTRUKCE UMĚLÉHO HORIZONTU .....	37
10.2	CHYBY UMĚLÉHO HORIZONTU .....	38
10.3	ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR .....	39
<b>11</b>	<b>ZATÁČKOMĚR .....</b>	<b>40</b>
11.1	PRINCIP A KONSTRUKCE ZATÁČKOMĚRU .....	40
11.2	RELATIVNÍ SKLONOMĚR .....	40
11.3	PRINCIP A KONSTRUKCE SKLONOMĚRU .....	41
11.4	ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR .....	41
<b>12</b>	<b>MAGNETICKÉ KOMPASY .....</b>	<b>42</b>
12.1	MAGNETISMUS ZEMĚ .....	42
12.2	PRINCIP A KONSTRUKCE KOMPASU .....	43
12.3	ČÁSTEČNÝ ZÁVĚR .....	43
<b>13</b>	<b>OSTATNÍ PALUBNÍ PŘÍSTROJE .....</b>	<b>44</b>
<b>14</b>	<b>VÝUKOVÝ PROGRAM .....</b>	<b>46</b>
14.1	HTML DOKUMENT .....	46
14.2	MICROSOFT OFFICE POWERPOINT .....	46
14.3	WINDOWS MOVIE MAKER .....	47
14.4	MICROSOFT FLIGHT SIMULATOR .....	47
14.5	TYPY PAMĚTI .....	47
14.5.1	Auditivní typ paměti .....	48
14.5.2	Vizuální typ paměti .....	48
<b>15</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>49</b>
15.1	ZHODNOCENÍ CÍLŮ .....	49
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>

## CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato bakalářská práce je složena ze dvou částí, a to z textové části a z výukového programu. Cílem bakalářské práce je ucelit informace o leteckých přístrojích, jejich vývoji a principech.

V teoretické části se nejdříve budu zaměřovat na popis pitot-statických přístrojů, gyroskopických přístrojů a kompasů. Tento text rozdělím do příslušných kapitol a podkapitol. Každá kapitola bude přístroj popisovat z jeho obecné a funkční stránky. Po této části se zaměřím na princip a konstrukci přístroje, který je pro lepší představivost doplněn obrázkem. Z různých důvodů pracují některé přístroje s chybami, proto je další část kapitol věnovaná podkapitole o chybách přístroje. Poslední podkapitolou je částečný závěr, který bude shrnovat celkovou kapitolu vzhledem k výukovému programu.

V praktické části této bakalářské práce vytvořím výukový program, který bude k dispozici vyučujícím, popřípadě samotným studentům. Výukový program bude v podobě internetových stránek, které budou tvořené pomocí **HTML kódů**. Více o tvorbě stránek je v samotné kapitole výukový program. Na těchto stránkách budou umístěné kapitoly vycházející z textové části této práce. Na webových stránkách budou umístěny odkazy na různá videa týkající se daného tématu. Další částí výukového programu bude video. Toto video je upravené přes program **Windows Movie Maker**, je natočené přes letecký simulátor a demonstruje konkrétně zaletěný okruh nad letištěm Leoše Janáčka. Na videu je okomentované odečítání z leteckých přístrojů. Další částí výukového programu bude jednoduchá prezentace vytvořená pomocí programu **PowerPoint** z kancelářského balíčku společnosti Microsoft.

Zásadním cílem je vytvořit celek, který bude praktický a pomůže studentům porozumět dané problematice. Výukový program bude názorný pomocí videozáznamu, obrázků a dalších publikovaných odkazů týkající se probíraného učiva.

## ÚVOD

Doprava, zvláště přeprava osob a zboží, patří mezi nejrychleji se rozvíjející sektory národního hospodářství a zároveň představuje nejrozsáhlejší část ekonomiky. Z hlediska dopravních prostředků patří k nejpoužívanějším druhům dopravy železniční doprava, silniční doprava, vodní doprava a letecká doprava. Letecká doprava patří mezi nejrychlejší, nejpohodlnější a nejbezpečnější způsob přepravy. Bezpečnost letecké dopravy závisí na mnoha aspektech, zejména na bezpečnostních předpisech, které kladou nároky na technickou stránku letadel (požadavky na letecké přístroje), údržbu a výcvik personálu.

Aby byl let úspěšný a bezpečný, potřebuje pilot získávat informace o poloze letadla, směru letu a o ostatních technických parametrech. Na letecké přístroje je kladen velký důraz, ale různé důrazy si kolikrát protiřečí. Konstrukteři například požadují, aby přístroje nebyly rozsáhlé velikostí a tím pádem byly do letadla jednoduše zabudovatelné. Ale zároveň údaje z přístrojů musí být jednoduše čitelné a musí být poznat i malé změny. Některé výchozí údaje z leteckých přístrojů vyžadují analogové zobrazení, například u umělého horizontu. Dalšímu leteckému přístroji vyhovuje zobrazení v digitální podobě. V rozporu bývají na jedné straně požadavky samotných konstruktérů, na druhé straně jsou však ti, kteří z přístrojů údaje odečítají.

První kapitola v této bakalářské práci se zabývá vývojem letectví. Na tuto kapitolu navazuje druhá kapitola s názvem historický vývoj leteckých přístrojů. Ve třetí a čtvrté kapitole se zaměřím na požadavky na přístrojové vybavení a rozdělení palubních přístrojů. Pátá kapitola se věnuje mezinárodní standardní atmosféře a jmenuje se aerodynamické síly. Šestá kapitola popisuje přístroj pojmenovaný Pitotova trubice. Sedmá kapitola popisuje výškoměr, následující rychloměr, devátá kapitola se zaměřuje na variometr. V desáté kapitole je popsán umělý horizont. Jedenáctá kapitola se zabývá zatáčkoměrem v kombinaci se sklonoměrem. Dvanáctá kapitola je určena magnetickému kompasu. Následující kapitola ukáže, že existují i ostatní letecké přístroje. Ve čtrnácté kapitole je popsán výukový program a jeho tvorba.

# 1 VÝVOJ LETECTVÍ

Touha po létání je stará jako samo lidstvo. Mnoho příběhů z historie obsahuje poznatky o tom, jak lidé, či bohové měli schopnost létat. Lidé se snažili kopírovat pohyby ptáků, jako Daidalos a jeho vlastnoručně vyrobené křídla z ptačích per lepené voskem. Již kolem 15. století se známý vynálezce Leonardo da Vinci zabýval principy konstrukce létajícího stroje. V polovině 18. století byl zkonstruován model vrtulníku na meteorologické zkoumání atmosféry. Známí francouzští bratři Mongolfierové vypustili 5. června 1783 balón naplněný horkým vzduchem. Balón byl bez posádky, letěl zhruba 10 minut a vystoupal do výšky 1830 metrů a po tom, co vzduch pod balónem vychladl, balón sklesal zpět na zem. Další člověk, který se úspěšně zabýval myšlenkou létání na konci 19. století, byl konstruktér prvního parou poháněného letadla Alexandr Možajskij. V roce 1900 byly uskutečněny první lety se vzducholoděmi, jejichž konstruktérem byl německý hrabě Ferdinand von Zeppelin.

Tento rok, je to už více než jedno století (110 let) od prvního letu letadla, který byl těžší než vzduch, byl poháněný motorem a byl řízený pilotem. Let byl uskutečněn v Severní Karolíně 17. prosince 1903 bratry Wrightovými. První ověřený let v Evropě provedl Alberto Santo-Dumont v roce 1906. Sám byl pilotem, konstruktérem a popsal řadu dalších konstrukcí letadel a vrtulníku.

Tato kapitola se věnovala hrubému průřezu historií letectví v důležitých meznících.

## **2 HISTORICKÝ VÝVOJ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ**

První letecké přístroje byly uplatňovány v balónech, a tyto přístroje měly předchůdce v námořnictví. Pro navigaci byl používán například astroláb, který byl později nahrazen sextantem, ale vždy se k navigaci využívalo Slunce, Měsíce, planety a 57 navigačních hvězd.

### **2.1 Přístroje nulté generace**

Například kompas je známý již ze starověké Číny, první zmínky pochází ze 4. století. První námořní chronometr byl sestaven v roce 1715, ovšem až o několik testovacích let později byly hodiny vhodné k námořní navigaci. Nulá generace přístrojů zahrnuje počátky samotného letectví. Avionika se začala vyvíjet v 18. století, bratři Montgolfierové využili k měření nadmořské výšky barometr. Bratři Wrightové měřili rychlost díky anemometru. Mezi přístroje této generace řadíme výškoměr, rychloměr, tlakoměr, teploměr, otáčkoměr a hodiny.

### **2.2 Přístroje první generace**

Přístroje první generace vznikali v takzvaném válečném a poválečném období (1940 – 1960). Druhá světová válka pomohla vývoji radaru pro zjištění nepřátelských letadel. Do válečného letectví se promítla i radiokomunikace. Na počátku této komunikace se přenášela pouze Morseova abeceda a v roce 1906 byl přenesen i lidský hlas. Radiokomunikace zaznamenala rozvoj během 2. světové války.

Po republice vznikaly společnosti na výrobu leteckých přístrojů, některé z nich fungují do dnes. Vyráběny byly první přístrojové systémy s analogovým zobrazením.

### **2.3 Přístroje druhé generace**

Zavedením proudových motorů narůstal počet měřených i zobrazovaných parametrů a tím vznikaly přístroje druhé generace (1960 – 1975). Způsob létání musel v závislosti na ropné krizi v roce 1970 nabrat úsporných opatření. Digitální počítače měly pomoci pilotovi co nejekonomičtěji zacházet s palivem. Navigační přístroje mu měly pomoci s nejkratší délkou cesty a s minimálním manévrováním.

Ke konci tohoto období byla zahájena výroba letounu L - 410 Turbolet teď už českým leteckým výrobcem Let Kunovice. Letadla tohoto typu byla vybavována nejrozumnějším radionavigačním zařízením, radiokompasy, používaly se kursové a gyroindukční systémy

a typy odpovídačů sekundárního radiolokátoru. Kontrolovaný již nebyl jen motor, ale i drak letadla. S tím souvisí kontroly polohy určitých částí letadla – polohoznaky.

## **2.4 Přístroje třetí generace**

Časový mezník má daný jen začátek a to roku 1975, jelikož se zatím jedná o poslední dosud zařazenou generaci. V letectví se začaly využívat funkce mikroprocesorů a počítačů. Přejít na číslicovou techniku umožňuje snímat a zpracovávat veličiny, které se dříve vyhodnocovaly nezávisle na sobě. Pro tuto generaci je typický například aerometrický systém, nebo navigační systém. Informace jsou pilotovi zobrazovány mnohem snadněji díky změně způsobu zobrazení na palubní desce a postupnému přechodu z analogové mechaniky na obrazovkové displeje. Například při zobrazení motorových veličin využívá pilot doplnění analogového údaje o údaje číslicové. Dále byl do letectví zakomponován elektrický dálkový přenos, který je uskutečněn pomocí sběrnic.

V období třetí generace je pilot varovnými systémy informován o blížícím se nebezpečí nebo o vzniklé závadě. [5]

### 3 POŽADAVKY NA PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Montáž nebo instalace leteckých přístrojů může obsahovat kritické charakteristiky. Selhání, porucha nebo absence leteckého přístroje mohou způsobit vypnutí motorů, mohou zapříčinit katastrofické selhání, které vede ke ztrátě mnoha lidských životů, v lepším případě mohou způsobit škodu na letadle nebo majetku. Proto jsou požadavky na přístrojové vybavení velmi přísné a řídí se různými zákony, předpisy, směrnicemi a nařízeními.

Vzhledem k tomu, že letecká doprava je víceméně celosvětová, čerpá zákony i z mezinárodních organizací. Základními organizacemi je ICAO (International Civil Aviation Organization), která má sídlo v Montrealu, ECAC (European Civil Aviation Conference), jejíž součástí jsou sdružené letecké úřady JAA (Joint Aviation Authorities), které vydávají JARy (Joint Aviation Requirements), což jsou společné letecké předpisy, podle kterých je letecká technika certifikována. V české republice je jedním z předpisů Letecký předpis L 6, s názvem provoz letadel, Hlava 6 – přístroje, vybavení letounu a letová dokumentace. Předepsané přístroje a vybavení včetně jejich zástavby musí být schváleny nebo přijaty státem zápisu do rejstříku. Ve stejném předpise, ale v části Hlava 7 – palubní komunikační a navigační vybavení je definováno navigační vybavení, kterým musí být letoun vybaven.

Hlavní požadavky kladené na letecké palubní přístroje jsou:

1. malá váha a malé rozměry,
2. dostatečná přesnost údaje,
3. odolnost vůči otřesům,
4. necitlivost k povětrnostním vlivům (změny teploty, vlhkosti a podobně),
5. dobré tlumení systému přístroje (ručička se nesmí chvět),
6. snadné odečítání údajů z přístrojů ve světle i za tmy,
7. snadná manipulace s přístroji v letadle a z letadla,
8. necitlivost na magnetická pole a nevytváření magnetického nebo elektromagnetického pole,
9. snadné ošetřování,

10. dlouhá životnost,

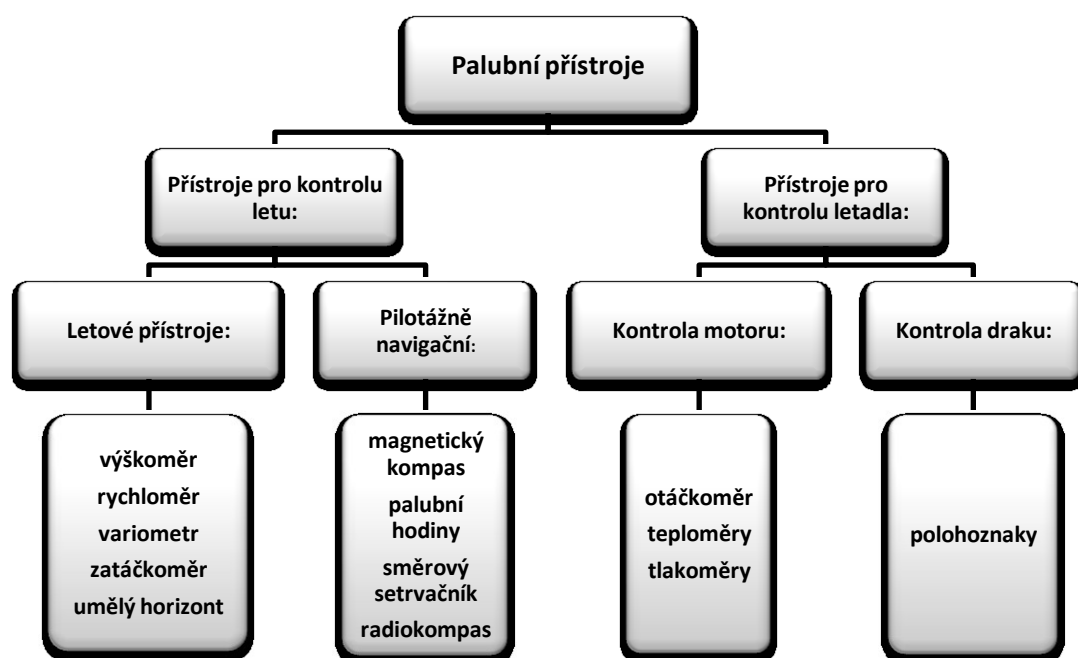
11. ukazovat ve všech polohách letadla.

Uvedené požadavky platí pro letecké přístroje všeobecně. Některé body si však navzájem protirečí. Každý bod neplatí pro každý přístroj. Například pro magnetické kompasy nebude platit bod 8., pro teploměry část bodu 4., pro sklonoměry bod 11. a podobně. [1]



## 4 ROZDĚLENÍ PALUBNÍCH PŘÍSTROJŮ

Důležitou součástí každého letadla je přístrojové vybavení. Bez nich by byla bezpečnost letu nulová. Tyto přístroje udávají nepřetržitá data o pohybu, slouží k určení polohy letadla, zobrazují chod motoru a funkčnost systému draku. Umístění palubních přístrojů má specifický systém, který umožňuje, aby pilot nebyl zbytečně zdržován a unavován samotným sledováním přístrojů. Přístroje jsou umísťovány podle důležitosti. Letecké přístroje se dají rozdělit do několika různých skupin dle různých hledisek. Základní rozdělení může být podle toho, co daný přístroj kontroluje. Do jedné skupiny zařadíme přístroje pro kontrolu letu, ve skupině druhé pak jsou přístroje pro kontrolu letadla (viz obrázek 4.1).



Obr. 4.1 Dělení palubních přístrojů [4]

Každý přístroj vyžaduje jiné zobrazení výstupní informace, když si za příklad vezmeme zobrazení vizuální, musíme dále rozlišit, zda bude analogový (ručičkový), digitální (číselný), anebo bude signál zobrazen pomocí symbolů a barev. Některé přístroje varovného charakteru vydávají signál akustický (zvukový), anebo vydávají takový signál, který člověk vnímá jinými smysly - například dotechem a to je třeba vibrační chvění na řídicí páce.

O výšce letu, vertikální rychlosti, rychlosti, o natáčení a zatáčení letadla informují pilota letové přístroje.

O poloze letadla vzhledem k souřadnicovému systému, o kurzu letu, čase a době letu informují navigační přístroje.

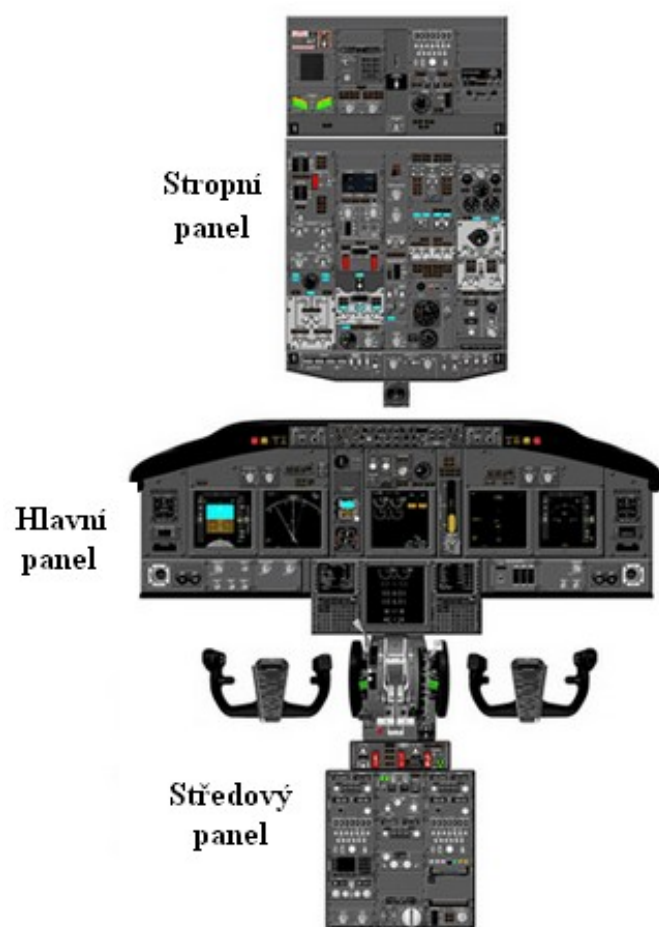
O stavu chodu motoru např. tlaku, teploty motoru, spotřeby, otáčky motoru, vibrace informují přístroje pro kontrolu motoru.

O stavu jednotlivých částí draku, stavu paliva, polohu podvozku a různých tlacích tak o tom všem informují přístroje pro kontrolu draku letadla.

#### **4.1 Palubní desky letadel**

Není jen důležité, zda má pilot v letadle ty správné přístroje a zda tyto přístroje správně fungují. Důležité je i samotné rozložení přístrojů na palubní desce. V tomto případě norma udává rozměry, tvary a způsob upevnění palubních přístrojů a ukazatelů. Ukazatele a přístroje se používají buď kruhového tvaru s průměrem od 2,6 cm do 8 cm, nebo obdélníkového tvaru s rozměry od 2,2 cm x 4,4 cm do 15,7 cm x 15,7 cm. Velikostně jsou kruhové přístroje rozděleny do 4 rozměrových skupin a obdélníkové přístroje do 12 rozměrových skupin.

Některé letecké přístroje poskytují posádce doplňující informace, tyto údaje jsou kontrolní a nemusí být pravidelně kontrolovány, a proto mohou být umístěny na vnějších stranách palubních desek. Potom jsou letové a pilotážně navigační přístroje, které jsou pravidelně kontrolovány a nachází se v zorném poli pilota. Umístění přístrojů není dáno žádným předpisem ani normou. Samotné umístění přístrojů vychází z užívání a vývoje. Každé letadlo je specifické jiným počtem a druhem přístrojů, faktory jsou závislé na typu letadla a účelu provozování. Pro porovnání jsou níže palubní desky u velkého dopravního letadla Boeing 737 (obrázek 4.2) a palubní deska u sportovního letadla Zlín 43 (obrázek 4.3). Již na první pohled je patrný rozdíl ve velikostech, množství palubních přístrojů a způsobu zobrazení snímaných veličin.



Obr. 4.2 Palubní desky Boeing 737 [7]



Obr. 4.3 Palubní deska Zlin – 43 [6]

## 4.2 Pitot-statické přístroje

Základem Pitot-statických systémů je Pitotova trubice. Tato sonda je vybavena kanálkem pro odvod vody a vyhřívacím tělískem proti zamrznutí. Nejčastěji se tento systém používá v letectví pro určení rychlosti letu, nadmořské výšky a Machova čísla. Pitot-statický systém je citlivý na tlak a obvykle se skládá z trubice, do které při letu naráží vzduch, která je umístěna na přední části letadla. Tato sonda je vybavena kanálkem pro odvod vody a vyhřívacím tělískem proti zamrznutí. Mezi Pitot-statické přístroje řadíme:

- výškoměr,
- rychloměr,
- variometr.

## 4.3 Gyroskopické přístroje

Gyroskopické přístroje jsou založeny na vlastnostech setrvačníku. Poskytují pilotovi informace o orientaci letadla v prostoru. Gyro nástroje obsahují indikátory a těmi jsou ukazatele letové polohy a koordinace zatáčky. Každý gyroskopický přístroj obsahuje rotor, který je poháněný vzduchem nebo elektřinou a využívá gyroskopických zásad. Je důležité pochopit gyroskopické nástroje a jejich principy, kterými se jejich činnosti řídí. Stabilita tohoto přístroje se zvyšuje, pokud má rotor velkou hmotnost a rychlost. Proto jsou gyroskopické přístroje využívané v letectví vyrobené z těžkých materiálů a jsou navrženy tak, aby se rychle točily. Mezi Gyroskopické přístroje můžeme zařadit:

- umělý horizont,
- povelový ukazatel letové polohy,
- ukazatel směru,
- indikátor horizontální situace,
- zatáčkoměr s indikací skluzu,
- relativní sklonoměr.

### 4.3.1 Gyroskop respektive setrvačník

Gyroskop je zařízení, které se do podvědomí dostalo až v roce 1852 díky Leonu Foucaltovi. Gyroskop je vlastně setrvačník. Setrvačník je těleso, které se otáčí kolem pevného bodu. Pro lepší představu si nejdříve uvedeme, jaká tělesa lze za setrvačník

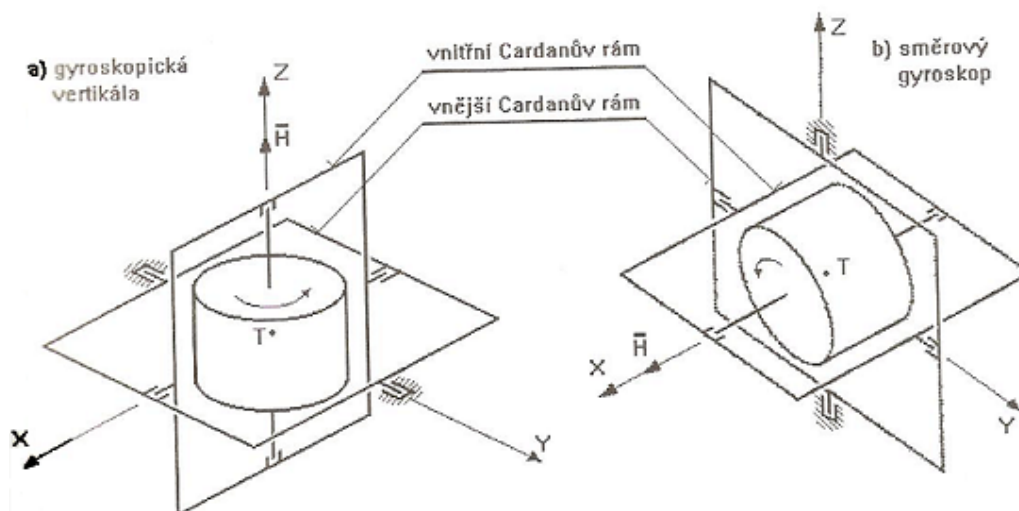
považovat. Setrvačnick je například Země, rotor turbíny, elektromotoru, nebo alternátoru, ozubená kola mechanických převodů, kolovrátek, dětská hračka káča, jojo a setrvačnicková autíčka.

### 4.3.2 Gyrovertikála

Základním měřicím prvkem je gyroskop se třemi stupni volnosti, jehož osa hybnosti zaujímá **vertikální směr** (obrázek 4.4 a). Měřicí gyroskop je korigován zařízením, kde fyzikální podstatou je kyvadlo v zemském tíhovém poli. Gyrovertikály slouží k měření podélného a příčného sklonu tělesa.

### 4.3.3 Gyrohorizontála

Horizontální korekce udržuje hlavní osu rotace pořád **v horizontální rovině** (obrázek 4.4 b) a je u jednoduchých směrových gyroskopů, jejichž Kardanův závěs má pouze dva rámy. Jeden vnitřní rám se otáčí kolem svislé osy, a druhý vnější rám se otáčí kolem osy vodorovné. Setrvačnick je uložen ve vnitřním rámu, takže osa setrvačnicku se může otáčet kolem os obou rámu a může zaujmout v prostoru libovolný směr. [3]



Obr. 4.4 Základ gyroskopických přístrojů [3]

## 4.4 Kompasy

Úhel mezi magnetickým, nebo zeměpisným poledníkem a podélnou osou letadla (opravený o deviaci) určuje kurz letu. Referenční rámec vymezuje čtyři světové strany – sever (North), jich (South), východ (West) a západ (East). Průběžné směry jsou také definovány. Existují dva široce používané a radikálně odlišné typy kompasů.

## 5 AERODYNAMICKÉ SÍLY

Při pohybu letadla ve vzduchu, působí na letadlo různé aerodynamické síly. S rozdílnou výškou, tlakem, hustotou a teplotou se mění vlastnosti vzduchu. Vlastnosti vzduchu se mění nejen s již řečenými veličinami, ale také v závislosti na ročním období, na tom zda je noc, či den, a také na zeměpisné šířce. Aby letadla měla pro různé výpočty stejné jednotky, byla zavedena mezinárodní standardní atmosféra – MSA (The International Standard Atmosphere – ISA). MSA je zjednodušený model zemské atmosféry, který byl zaveden organizací ICAO v roce 1952. Aby letecké přístroje fungovaly správně, jsou všechny cejchovány právě na hodnoty mezinárodní standardní atmosféry.

V letectví jsou kromě jednotek SI soustavy užívané i jiné jednotky, které jsou dlouhodobě zažité, anebo jsou převzaté z jiných zemí a proto je budeme používat i my v dalším textu.

### 5.1 Základní jednotky

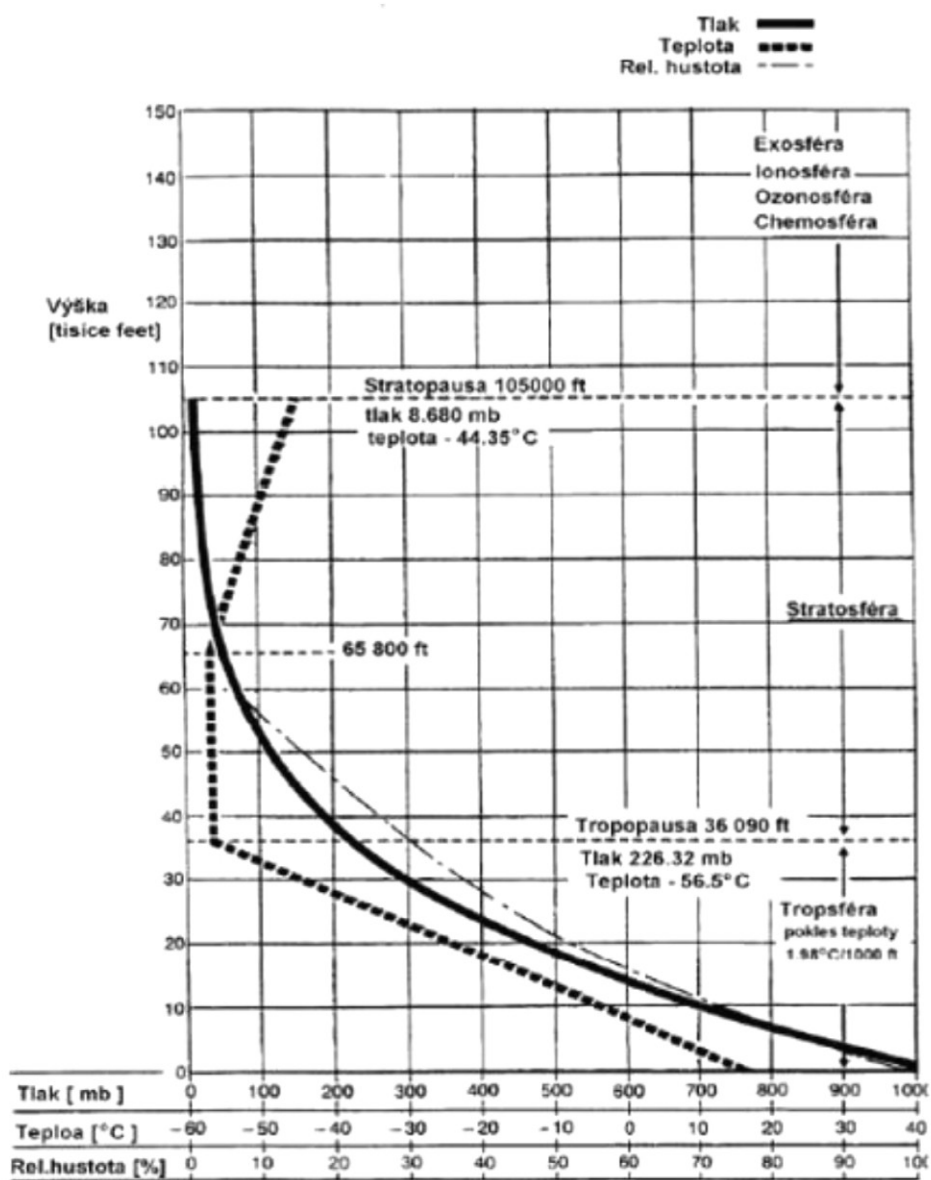
V textu níže si zopakujeme základní a odvozené jednotky soustavy, které se týkají letectví.

- absolutní tlak vzduchu  $p_0 = 101325 \text{ Pa}$
- teplota vzduchu  $T_0 = 15 \text{ °C} = 288,15 \text{ K}$
- hustota vzduchu  $\rho_0 = 1,2250 \text{ kg m}^{-3}$
- gravitační zrychlení  $g_0 = 9,80665 \text{ m s}^{-2}$
- rychlost zvuku  $v_{z0} = 340,294 \text{ m s}^{-1}$

Další a jiné měrné jednotky se používají v západních státech.

- 1 statutární míle = 1609,3295 m
- 1 anglická námořní míle = 1854,965 m
- 1 americká námořní míle = 1853,249 m
- 1 knot = 1 uzel = počet anglických námořních mil za hodinu (letadlo letí 2000 mil, je to  $2000 \times 1854,965 = 3709930 \text{ m} = 3709,9 \text{ km}$ )
- 1 stopa = 1 feet = 0,30479 m (letadlo letělo ve výšce 1 000 ft, letělo v  $304,79 \text{ m} = 0,30479 \times 1000$ )

- 1 anglický gallon = 4,543389 litrů (obsah palivové nádrže je 100 gallonů=454,3389 litrů)
- 1 americký gallon = 3,78533 litrů
- 1 libra = 0,45359224277 kg [1]



Obr. 5.1 Průběh MSA s výškou [8]

## 6 PITOTOVA TRUBICE

Pitotova trubice je nástroj používaný k měření tlaku. Pitotova trubice byla vynalezena francouzským inženýrem Henrim Pitotem na počátku 18. století. Do moderní podoby byla upravena v polovině 19. století francouzským vědcem Henrym Darcym. Anglický název toho přístroje je pitot.

Stojí-li letadlo na zemi v klidovém prostředí, působí na letadlo jen statický tlak vzduchu, který je určený podle MSA a má určitou hustotu. Začne-li se letadlo pohybovat, pocítíme působení určité síly a tlaků proti letadlu, které se zvětšují. Zvětšují se, čím rychleji se letadlo pohybuje. Tento tlak se nazývá dynamický (dynamika=pohyb). Na letadlo působí celkový tlak, ten je měřen tak, že do trubice naráží proud vzduchu. Za celkový tlak je brán součet statického a dynamického tlaku.

### 6.1 Princip a konstrukce Pitotovy trubice

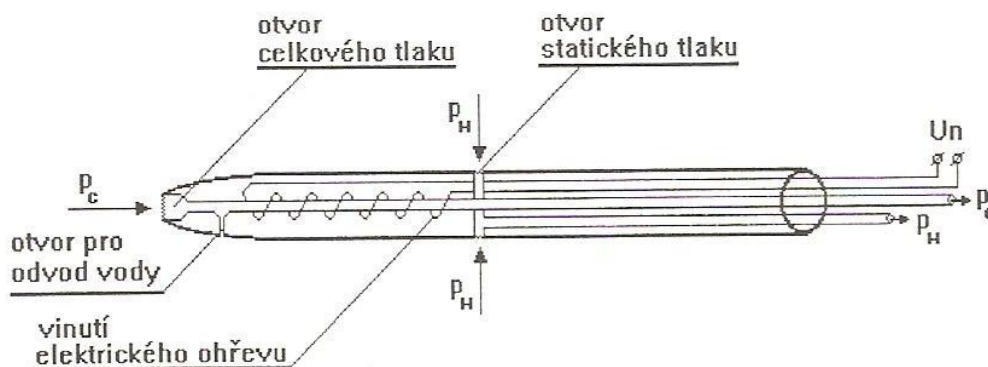
Konstrukce Pitotovy trubice se skládá z následujících částí:

- trubice přívodu celkového tlaku
- komora
- statické otvory
- trubice přívodu statického tlaku

Jde o válcovité ocelové těleso, které má na základě teoretických výpočtů a zkoumání v aerodynamických tunelech stanoveny otvory statického tlaku. Otvory Pitot-statické trubice jsou propojeny s potrubími rozvodů statického a celkového tlaku letadla. Jedná se o spojení dvou trubic, jedna s vodorovným ramenem a ta druhá trubice se svislým ramenem. Na začátku potrubního vedení je přepážka, která zabraňuje vnikání nečistot a vody do potrubí. Tato trubice podléhá častým kontrolám čistoty vstupních otvorů a celkového stavu přístroje. Schéma přístroje je znázorněno na obrázku 6.1.

Zařízení je opatřeno vyhřívacím tělesem, aby trubice nezamrzala. Trubice se umísťuje pomocí příruby do míst, kde letadlo moc neovlivňuje proudění vzduchu. U dopravních letadel toto umístění bývá většinou na bocích přídě letadla v blízkosti pilotní kabiny.





Obr. 6.1 Pitotova trubice [3]

V Pitotově trubici se využívá důsledků Bernoulliho rovnice. Rychlost proudící kapaliny pomocí rozdílu tlaků se určuje pomocí Pitotovy trubice. Kapalina v ohnuté trubici ztratí veškerou svou rychlost, zatímco u rovného vývodu má kapalina rychlost proudění. Svou energii si kapalina uchová, a proto bude platit vztah:

$$p_2 = \frac{1}{2} \rho v^2 + p_1 \quad [2]$$

Z tohoto vztahu si vyjádříme

$$v = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho}} \quad [2]$$

Z rozdílu hladin v obou trubicích jsme určili rozdíl tlak,  $p_1 - p_2 = \rho gh$ .

## 6.2 Chyby přístroje

Nesprávná činnost Pitotovy trubice ovlivňuje činnosti ostatních přístrojů, které jsou závislé na informacích o statickém tlaku. Těmito přístroji jsou výškoměry a variometry. Stane-li se, že potrubí zamrzne nebo se do něj dostane hmyz, bude výškoměr zaznamenávat stále stejnou počáteční hodnotu a variometr nebude zobrazovat stoupání.

Dojde-li k ucpání statického potrubního systému po dosažení určité výšky, pak bude výškoměr zobrazovat výšku dosaženou v okamžiku ucpání a variometr bude zobrazovat nulovou výšku. Rozmrzne-li, nebo se jiným způsobem uvolní ucpané potrubí, může dojít ke zničení variometru.

Selhání jediného přístroje (Pitotova trubice) může způsobit leteckou katastrofu, tak jako tomu bylo v roce 1996 v Dominikánské republice. Letadlo Boeing 757, které provádělo popisovaný let, stálo na letišti více než 3 týdny. Ukazatelé obou pilotů by se

měly shodovat, jenže rychloměr kapitána zobrazoval jinou rychlost letadla než rychloměr prvního důstojníka. Dvě varovná znamení upozorňovala, že stroj letí příliš rychle. Po pár minutách letu ukazoval rychloměr prvního důstojníka, že je rychlost 400 km/h. Podle kapitánova rychloměru letěli rychlostí 600 km/hod. Kapitán byl nespokojen s protichůdnými informacemi o rychlosti. Letadlo ztratilo řiditelnost a řítilo se k hladině karibského moře. Během několika dnů se začalo vyšetřování o tom, co nehodu způsobilo, proč letadlo náhle zpomalilo a zřítilo se. Celý problém byl v Pitotové trubici.

Pátralo se, jestli během údržby čidla nepřelepily, nebo nezapomněli vrátit kryty, které tam ale původně vůbec nebyly. To, že Pitotovy trubice nebyly po celé 3 týdny zakryté, byla zásadní informace. Pilot zapnul automatický systém řízení (autopilota). Autopilot používá údaje o rychlosti z jediného zdroje a to z Pitotovy trubice, která byla ucpaná nenápadným vetřelcem - vosou kutilkou. Tato banální příčina a pár lidských pochybení pilota způsobily leteckou katastrofu.

### **6.3 Částečný závěr**

Ve výukovém programu bych chtěla poukázat na to, že Pitotova trubice je důležitý přístroj v letadle, jehož funkčnost ovlivňuje chod ostatních přístrojů. Proto na internetových stránkách najdete odkaz na leteckou katastrofu Boeingu 757 v Dominikánské republice. (<http://www.youtube.com/watch?v=EqWgmw5Cjn8>). Kdy ucpání Pitotovy trubice ovlivnilo několik set lidských životů.

## 7 VÝŠKOMĚR

Výškoměr je zařízení, které informuje pilota o tom, v jaké výšce se nachází nad povrchem Země. Anglický název tohoto přístroje je altimetr. Zjednodušeně je výškoměr založen na snižování tlaku s rostoucí výškou, ovšem pokles tlaku není stoprocentně lineární. Tlak vzduchu klesá s nárůstem nadmořské výšky přibližně 100 hPa na 800 metrů. Barometrický (tlakový) výškoměr je nutno před vzletem nastavit podle aktuálních podmínek vyčtených v mapě, nebo zadaných letištní službou. Od správného nastavení výškoměru se odvíjí bezpečnost letadla. Na začátek si musíme vysvětlit pár pojmů. Základním nastavením je QNH – hodnota atmosférického tlaku na příslušném místě přepočteného na hladinu moře. Výškoměr se správně nastaveným QNH ukazuje nadmořskou výšku letadla (když bude letadlo stát na letišti, výškoměr bude ukazovat nadmořskou výšku letiště). QFE je hodnota atmosférického tlaku na letišti, bez přepočtu na hladinu moře. Výškoměr pak ukazuje výšku nad úrovní tohoto letiště (když bude letadlo stát na letišti, výškoměr bude ukazovat výšku výškoměru nad zemí). QFF je barometrický tlak „zjednodušený“ ke střední hladině moře. QNE je standardní statický tlak zemské atmosféry, který je na střední hladině moře 101325 Pa.

### 7.1 Princip barometrického výškoměru

Závislost statického tlaku vzduchu  $p_H$  a výšky  $H$  je definována v MSA. MSA udává pro statický tlak výraz:

$$p_H = p_0 * (1 + \frac{\alpha}{T_0} * H)^{\frac{g}{r * \alpha}} [2]$$

$p_0$ - statický tlak vzduchu na hladině moře (101 325 Pa)

$T_0$  – absolutní teplota vzduchu na hladině moře (288,15 K = -15 °C)

$\alpha$  – vertikální teplotní gradient (-6,5 °C/km)

$g$  – standardní tíhové zrychlení (9,80665)

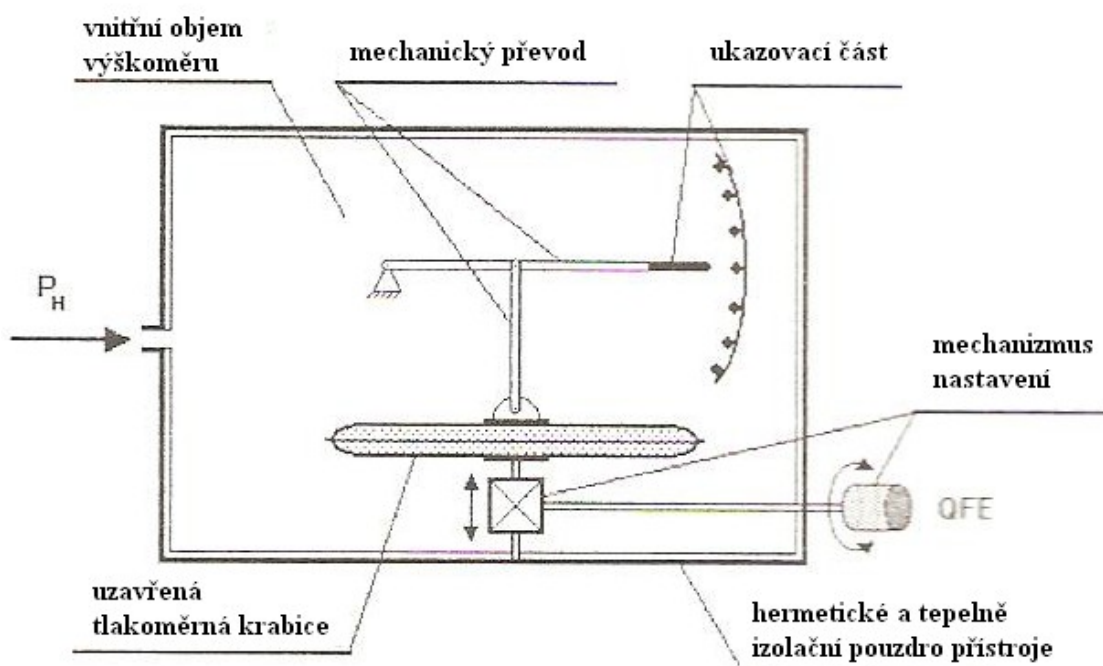
$r$  – plynová konstanta vzduchu (287,05307 J\*kg<sup>-1</sup> \* K<sup>-1</sup>)

Na základě těchto výrazů přepsaných do tvarů cejchovacích rovnic jsou cejchovány barometrické výškoměry:

$$H = -\frac{T_0}{\alpha} * \left[ 1 - \left( \frac{p_H}{p_0} \right)^{\frac{r * \alpha}{g}} \right] \text{ He} < 0,11000 > \text{ m [2]}$$

## 7.2 Konstrukce výškoměru

Barometrický výškoměr měří tlak vzduchu tam, kde se právě letadlo nachází. Výškoměr má jeden přívod statického tlaku, který je snímán Pitotovou trubicí. Do tělesa (pouzdra) přístroje je přiváděn statický tlak. Změnou statického tlaku se spíná a rozpíná barokrabice (tlakoměrná krabice), které obsahují zvlněné membrány. Toto spínání a rozpínání se přenáší převodovým mechanismem na ukazatel přístroje. Ukazatel zobrazí danou výšku na stupnici barometrického výškoměru. Konstrukce přístroje je znázorněna na obrázku 7.1.



Obr. 7.1 Schéma výškoměru [3]

Pro lepší představivost si uvedeme příklad na stoupání letadla. Při stoupání, klesá statický tlak vzduchu, tím pádem klesá i tlak přiváděný do pouzdra přístroje. To způsobuje, že se zmenšuje tlak působící na barokrabici, která se rozpíná. Pohyb je přenesen na ukazatel prostřednictvím převodového mechanismu. Ukazatel se pohybuje ve směru pohybu hodinových ručiček, takže ručička bude ukazovat stoupání, čili větší výšku.

## 7.3 Odečítání z přístroje

Jak jsme si již řekli v kapitole požadavky na letecké přístroje, musí být odečítání z přístrojů jednoduché. Výškoměry dokážou pracovat ve výšce až 30 km nad zemí.

Je výhodnější a přesnější mít výškoměry cejchované ve stopách, protože letové hladiny jsou pilotovi zadávány ve feetech.

#### 7.4 Chyby výškoměru

Pilot během letu nesleduje jen výškoměr, ale i ostatní palubní přístroje, pozoruje vzdušnou situaci kolem něj, řídí letoun a ovládá palubní systémy. Na letadlo působí během letu turbulence a poryvy větru, takže mezi jednotlivými kontrolami údaje výškoměru dochází k odchylkám od stanovené výšky letu.

Teplotní metodická chyba, která je způsobená odchylkou teploty  $T_0$  od standardní hodnoty, je v nulové nadmořské výšce nulová a s výškou lineárně roste. Je-li odchylka absolutní teploty vzduchu v nulové nadmořské výšce od standardní hodnoty  $\Delta T_0$  kladná, pak tlak atmosférického vzduchu je vyšší než standardní. Pak je barometrickým výškoměrem indikovaná výška menší, než je správná výška letu. Tlaková metodická u výškoměru je způsobena jak odchylkou statického tlaku v nulové nadmořské výšce od standardní hodnoty  $\Delta p_0$ , tak nepřesným snímáním statického tlaku  $\Delta p_{\text{stat}}$  Pitotovou trubicí.

Materiál, ze kterého jsou krabice vyrobeny, není dostatečně pružný a má určitou poddajnost. Tlakoměrné krabice se tedy dopružují a jsou závislé na předchozích stavech. Teplota výškoměru způsobuje teplotní roztažení součástí mechanismu přístroje, mezi nedostatečnými vůlemi může dojít k váznutí součástí.

#### 7.5 Částečný závěr

Výukový program popisuje tento přístroj podobným způsobem. Ale pokud student shlédne leteckou katastrofu, která je zmiňovaná v předchozí kapitole, pochopí, že chod a funkčnost výškoměru závisí hlavně na Pitotově trubicí a snímaných tlacích.

## 8 RYCHLOMĚR

Rychloměr je přístroj, který pilot používá během všech fází letu. Od vzletu, stoupání, cestovního letu, klesání až po přistání ho sleduje za účelem udržení rychlostí, které jsou specifické pro typ letadla. Nejrozšířenějším typem jsou aerometrické rychloměry s Pitotovou trubicí, které se používají jak na palubách kluzáků, vrtulníků a ultralehkých letadel, tak i na palubách velkých dopravních letadel. Anglický název toho přístroje je airspeed indicator.

### 8.1 Definice rychlosti letu

IAS (Indicated Air Speed) indikovaná rychlost je přístrojová rychlost, kterou zobrazuje rychloměr, je úměrná dynamickému tlaku a je opravená o přístrojové chyby.

CAS (Calibrate Air Speed) kalibrovaná rychlost je indikovaná rychlost, která je opravená o polohovou chybu Pitotovy trubice.

EAS (Equivalent Air Speed) ekvivalentní rychlost je kalibrovaná rychlost opravená o vliv stlačitelnosti vzduchu.

TAS (True Air Speed) pravá vzdušná rychlost je rychlost letadla vůči okolnímu vzduchu. Pravá vzdušná rychlost je opravená o vliv výšky.

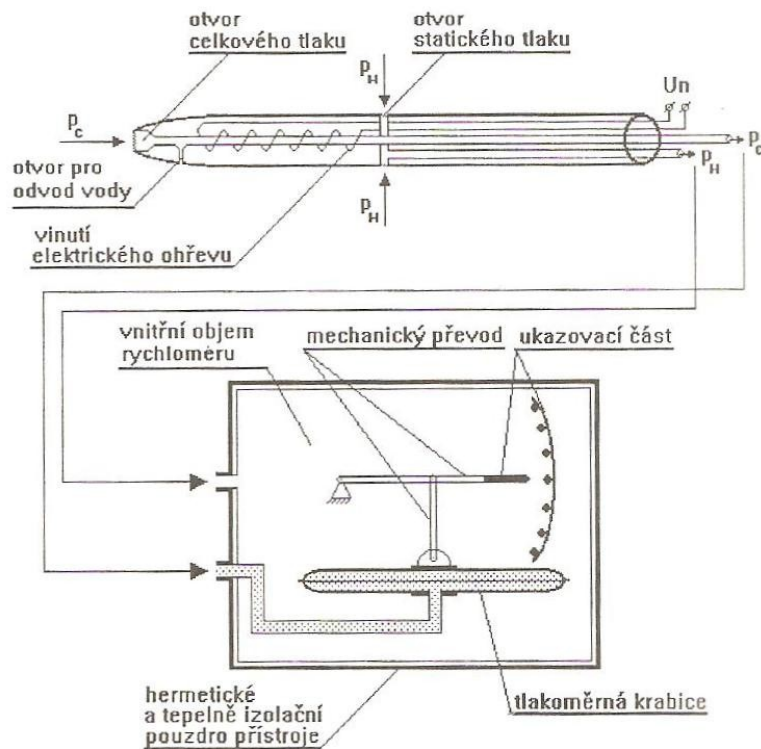
GS (Ground Speed) traťová rychlost je rychlost letadla vůči zemi. Tuto rychlost můžeme vypočítat pokud známe TAS a směr a rychlost větru.

Machovo číslo ( $Ma$ ) vyjadřuje poměr rychlosti letu ( $v$ ) vůči rychlosti zvuku v daném prostředí ( $c$ ). Je-li  $Ma < 1$ , jedná se o podzvukovou rychlost, je-li  $Ma > 1$ , jedná se o rychlost nadzvukovou.

$$Ma = \frac{v}{c} [2]$$

### 8.2 Princip a konstrukce rychloměru

Rychloměr je tvořen tlakoměrnou krabicí, která je otevřená, převodovým mechanismem, ukazovací částí a tepelně izolačním vzduchotěsně uzavřeným pouzdem. Tlakoměrné krabice jsou tvořeny dvěma talířkovitými membránami, které jsou vylišované z kruhových, bronzových, velmi kvalitních pružných plechů. Do vnitřku tlakoměrné krabice je přiveden celkový tlak. Do pouzdra tohoto přístroje je přiveden tlak statický.



Obr. 8.1 Schéma rychloměru [3]

Rychloměr měří rozdíl mezi celkovým ( $p_{\text{celk}}$ ) a statickým tlakem ( $p_{\text{stat}}$ ). Písmeno  $q$  je tlak dynamický. Ještě známe tlak kinetický, ten společně s dynamickým tlakem je u pohybujícího se plynu. U kinetického tlaku nezvažujeme stlačitelnost plynu a letectví se tento termín používá do rychlosti zhruba 400 km/h. Pojem dynamický tlak se užívá nad rychlost 400 km/h do rychlosti 1 Macha a u tohoto tlaku je brán v úvahu stlačitelnost vzduchu. U nadzvukových letadel se používá termín náporový tlak, ale tomu se nebudeme věnovat.

$$p_{\text{celk}} = p_{\text{stat}} + q [2]$$

Rychloměr tedy zjišťuje okamžitou hodnotu dynamického tlaku ( $q$ ), ale stupnice rychloměru je cejkovaná v rychlostních jednotkách a to buď km/h, nebo v knotech, což je námořní míle za hodinu.

Známe několik druhů membránových rychloměrů a to:

- rychloměry jednoduché,
- rychloměry s částečnou hustotní korekcí,
- rychloměry s úplnou hustotní korekcí,
- rychloměry kombinované.

Letadlům, létajícím v malých rychlostech a v malých výškách postačuje jednoduchý rychloměr, protože EAS a TAS je téměř stejná. U vysoko a rychle létajících letadel, už je rozdíl mezi přístrojovou a skutečnou rychlostí a je vhodné znát i Machovo číslo, a proto jsou do letadel konstruovány kombinované rychloměry. Kombinované rychloměry mají dvě zobrazovací ručičky. Tlustá ručička zobrazuje přístrojovou rychlost a tenká ručička skutečnou rychlost. Někdy je v rychloměru i ručička pro zobrazení Machova čísla, ale přístroj Machmetr může být do letadla konstruován i samostatně.

### 8.3 Stupnice rychloměru

Na stupnici rychloměru jsou vyobrazeny všechny rychlosti, které mohou během letu nastat. Pro lepší přehlednost rychloměru je stupnice rozdělena barevnými oblouky. Barevné značení obsahuje bílý oblouk, zelený oblouk, žlutý oblouk a červenou zářezku. Význam barevných oblouků je:

- bílý oblouk znázorňuje rozsah rychlostí pro let se vztlakovými klapkami (od  $V_{SO}$  do  $V_{FE}$ )
- zelený oblouk znázorňuje rozsah rychlostí, u kterých nehrozí nebezpečí přetížení konstrukce letounu při jakékoliv výchylce řídicích ploch, patří sem běžné cestovní rychlosti (od  $V_{SI}$  do  $V_{NO}$ )
- žlutý oblouk znázorňuje rozsah zvýšené pozornosti, protože pokud se rychlost letadla dostala do žlutého oblouku, musí pilot dbát zvýšené pozornosti, zásahem do řízení totiž může překročit maximální povolené zatížení konstrukce (od  $V_{NO}$  do  $V_{NE}$ )
- červená zářezka znázorňuje maximální přípustnou rychlost  $V_{NE}$



Obr. 8.2 Stupnice rychloměru [9]



### 8.3.1 Vysvětlení významných rychlostí

- $V_{SO}$  je pádová rychlost při násobku 1 v přistávací konfiguraci (přistávací konfigurace znamená, že letadlo má vysunutý podvozek a vztlakové klapky jsou v poloze přistání)
- $V_{SI}$  je pádová rychlost při násobku 1 při selhání motoru
- $V_{FE}$  je maximální rychlost pro let s otevřenými vztlakovými klapkami
- $V_{NO}$  je maximální rychlost, při které žádným zásahem do řízení nemůže pilot překročit maximální povolený násobek letounu, této rychlosti můžeme říkat i maximální cestovní rychlost
- $V_{NE}$  je rychlost maximální přípustná
- $V_{LO}$  je maximální rychlost pro ovládání podvozku
- $V_{LE}$  je maximální rychlost pro let s otevřeným podvozkem
- $V_{YSE}$  je rychlost pro největší rychlost stoupání při letu na jeden motor, platí to pro dvoumotorové letouny [3]

### 8.4 Částečný závěr

Ve výukovém videu můžeme upozorovat odečítání z rychloměru. Jakým způsobem ukazatel indikuje rychlost při stoupání a klesání letadla. Na internetových stránkách je vidět konstrukce tohoto přístroje a konstrukce je tam dokonce popsána textově. (<http://www.youtube.com/watch?v=HM7ZMPpbeDA>). Společně s obrázkem je snadnější konstrukci pochopit.

## 9 VARIOMETR

Lidské bytosti, na rozdíl od létajících živočichů, nejsou schopni vnímat stoupání a klesání. Před vynálezem variometru bylo pro piloty obtížné poznat, zda klesají, či stoupají. První variometr byl vynalezen v roce 1929 Alexandrem Lippishem a Robert Kronfeldem. Variometr informuje pilota o rychlosti klesání, nebo stoupání, jinak řečeno je to přístroj k měření rychlosti vertikálního letu. Je to velmi důležitý přístroj pro plachtaře. Tento přístroj může být kalibrován v uzlech, ve ft/min popřípadě v m/sec – to záleží na zemi, kde je letadlo provozováno a na typu letadla. V anglosaských zemích a v civilním letectví se používají stopy za minutu = ft/min. Anglický název tohoto přístroje je vertical speed indicator.

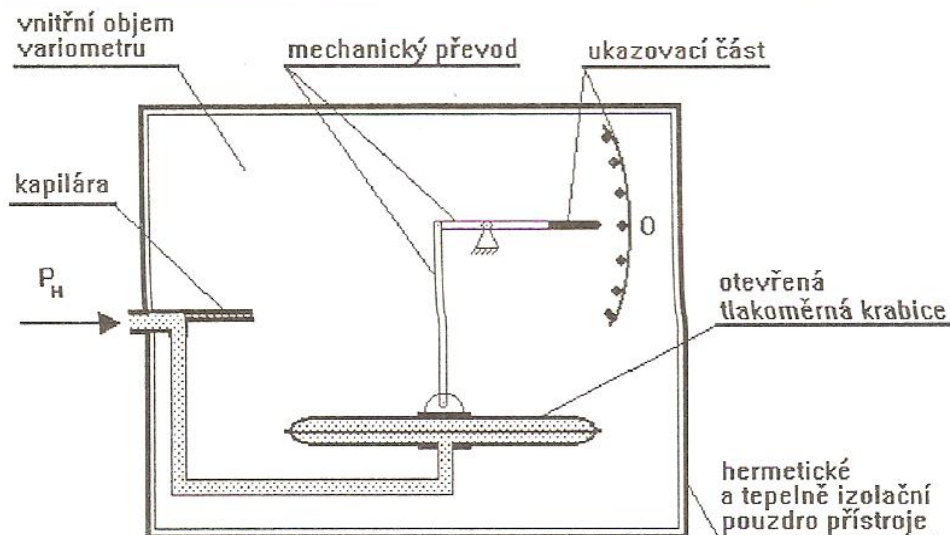
Nejpoužívanějšími typy variometru jsou variometry membránové (s tlakoměrnými krabicemi) a variometr klapkový (křídélkový).

### 9.1 Princip a konstrukce variometru membránového

Do vzduchotěsně uzavřeného pouzdra přístroje přivádíme statický tlak. Druhá přívod je zapojen na termoláhev, která nám soužijí jako zásobník určitého objemu vzduchu. Láhev je tepelně izolována dvojitou skleněnou stěnou, mezi níž je odčerpán vzduch stejně jako u termoláhve, které jsou používány v domácnostech. Takže změny okolní teploty jen minimálně ovlivňují teplotu vzduchu ve vnitřku láhve. Vzduch o statickém tlaku je přiveden jak do otevřené tlakoměrné krabice, tak i do pouzdra variometru pomocí skleněné trubičky s malým vnitřním průřezem - kapiláry. [1]

Při vodorovném letu letadla jsou tlaky uvnitř pouzdra přístroje i uvnitř krabice vyrovnávány, krabice nevykazuje žádný zdvih a variometr zobrazuje nulu. Při stoupání začne klesat barometrický tlak, tím pádem klesá tlak uvnitř přístroje. V odděleném prostoru v termoláhvi je ještě stejný tlak jako tam byl u vodorovného letu. Tento tlak je vyšší než barometrický tlak v pouzdru přístroje, který stále klesá, a tím pádem se deformuje tlakoměrná krabice a ručička se natočí směrem vzhůru. Tenhle princip je stejný jako u výškoměru, takže začneme-li stoupat, bude vzduch přefukovat kapilárou z jednoho prostoru do druhého (při stoupání z prostoru termoláhve do prostoru pouzdra přístroje). Rychlost přefukování bude tím větší, čím rychleji se mění tlak – čím rychleji stoupáme.

Nulová poloha ručičky se nachází ve vodorovné poloze – v základní pozici, na levé straně přístroje. Takže pohyb ručičky je při stoupání nahoru a při klesání dolů, což odpovídá smyslu pohybu letadla.

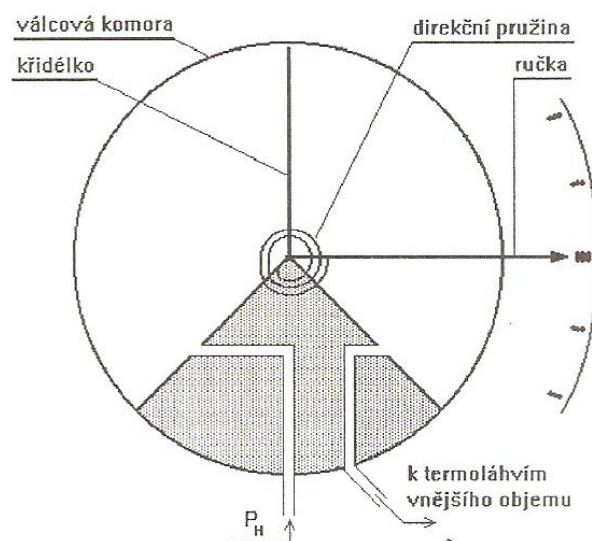


Obr.9.1 Schéma variometru s tlakoměrnou krabicí [3]

## 9.2 Princip a konstrukce klapkového variometru

Klapkový variometr tvoří válcová komora, která je rozdělena přepážkou a klapkou. Klapka se může otáčet kolem osy symetrie válcové komory. Klapka je v neutrální poloze pomocí směrné pružiny. Pokud je ta klapka v základní poloze, rozděluje komoru na stejné části. Do horní části komory se potrubím přivádí statický tlak. Z dolní části se vzduch odvádí do nádoby, či termoláhve jinak řečeno do náhradního nebo přídavného objemu. Tato nádoba musí mít dobré tepelně izolační vlastnosti. Na čepu klapky je uchycena ručička přístroje, která zobrazuje hodnoty na stupnici přístroje. [2]

Stejně jako u membránového variometru při vodorovném letu, se statický tlak v okolí letadla nemění. Tlaky vlevo a vpravo od klapky jsou stejné a ručička ukazuje nulu. Stoupá-li letadlo, statický tlak v závislosti na výšce klesá, v tom případě klesá i tlak v horní části válcové komory. Tlak v dolní části komory je stejný jako u vodorovného letu. Klapka se bude pohybovat nahoru a ručička zobrazí hodnotu, která odpovídá velikosti stoupání.



Obr.9.2 Schéma křídélkového variometru [3]

### 9.3 Chyby variometru

Přístrojovou chybou u tohoto přístroje doba, kdy dojde ke srovnání tlaků. Při rychlých změnách stoupání má variometr časový skluz, správně variometr ukazuje při konstantním delším stoupání. Přístrojové chyby variometru jsou dány hysterezí a pružením tlakoměrné krabice, třením převodového mechanismu a teplotními změnami. Metodická teplotní chyba je chyba významnější a je způsobena rozdílem teploty vzduchu v přístroji a teplotou, pro kterou byl variometr necejchován.

### 9.4 Částečný závěr

Ve výukovém videu si vysvětlíme odečítání z palubního přístroje nazývaného variometr. Z přístroje lze odečíst velikost stoupání či klesání. Na internetových stránkách je umístěn odkaz na video, které pomůže pochopit chování variometru. (<http://www.youtube.com/watch?v=X1NF1B5x5ms>)

## 10 UMĚLÝ HORIZONT

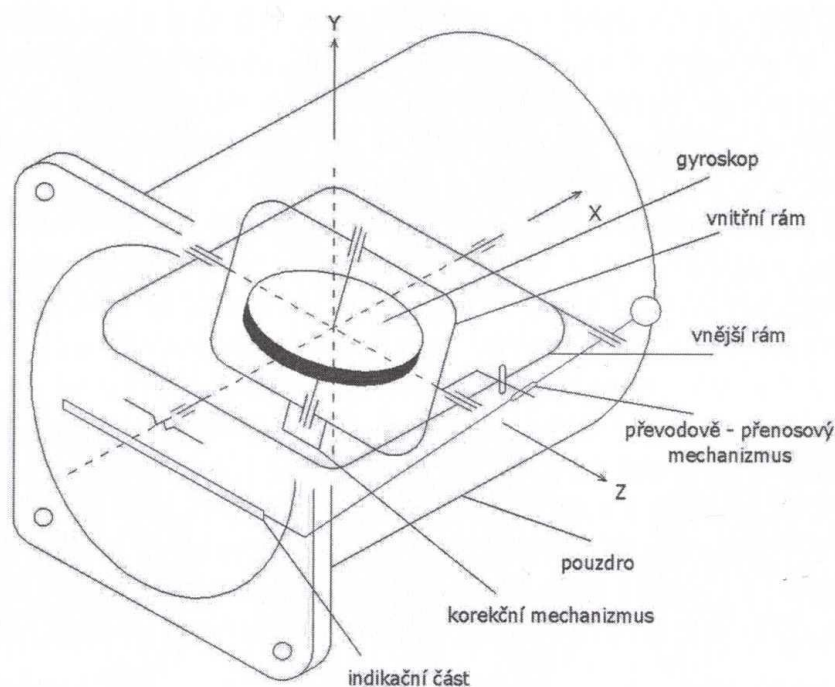
Během letu potřebuje pilot znát sklon letadla, jak už ve vodorovné hladině, tak i sklon podélné osy letadla – zjištění, zda letadlo klesá, či stoupá. Nejrychlejší přístroj, pomocí kterého tyto pohyby pilot pozná, je právě umělý horizont. Z toho plyne, že umělý horizont můžeme pojmenovat absolutním sklonoměrem. Za dobré viditelnosti pilot pozná polohu letadla i pohledem z okna, za špatné viditelnosti přichází na řadu právě zmiňovaný umělý horizont. Umělý horizont nahrazuje přirozený horizont země, v horní části je modrý a dolní polovina koule je hnědé barvy. Modrá barva nahrazuje oblohu, čím větší plochu zaujímá, tím více letadlo stoupá. Celý princip je založený na principu setrvačnicku, který je orientovaný jako gyrovertikála (viz kapitola 4.3).

U větších letadel, která jsou vybavena elektronickým letovým indikačním systémem EFIS – Electronic Flight Instrument System, se umělý horizont v dnešní době využívá jako záložní systém. V závislosti na vývoji byl mechanický ukazatel umělého horizontu zmodernizován a poloha letadla se zobrazuje pomocí multifunkčních LCD displejů. Displej se nazývá PFD – Primary Flight Display – primární letový ukazatel a informuje pilota o rychlostech, výškách, kurzu a režimu nastavení. V moderních pilotních kabinách jsou již tyto displeje dva, pro kapitána letadla a kopilota.

### 10.1 Princip a konstrukce umělého horizontu

Fungování umělého horizontu je založeno na principu setrvačnicku. Uvnitř koule, která zobrazuje umělý horizont, je umístěný setrvačnick s osou kolmou k zemskému povrchu, jinak řečeno gyrovertikála. Koule je umístěna v trojitým kardanovém závěsu, který jí umožňuje otáčení do všech stran.

Odečítání z umělého horizontu musí být velmi přehledné a jednoduché, protože piloti sledují tento přístroj bedlivěji především za snížené viditelnosti a ve stresových situacích. Proto musí být ukazovací část tohoto přístroje velká a symbolika polohy musí být jednoduchá a výrazná. Silueta letadla je vázaná na pouzdro přístroje a pohybuje se stejně, jako se pohybuje letadlo. Je-li silueta v rovině s čarou umělého horizontu přímo uprostřed přístroje, jedná se o přímočarý let bez změny výšky.



Obr. 10.1 Schéma umělého horizontu[4]

## 10.2 Chyby umělého horizontu

Přesnost umělých horizontů závisí na tom, jak přesně osa gyroskopu zachovává směr geografické vertikály. Chybnou korekci způsobuje umělý horizont při zatáčkách a akceleracích letounu. Dalšími možnostmi, proč umělý horizont pracuje chybně, může být nevyváženost setrvačníku nebo třecí síly kontaktů gyroskopu mezi rámy. Metodická i přístrojová chyba se odstraňuje korekčním zařízením tak, aby poloha osy setrvačníku byla vždy svislá k zemi. Způsoby jak opravit polohu hlavní osy gyroskopu od směru vertikály mohou být mechanické, pneumatické a elektrické. Mechanická korekce je prováděna pomocí závaží, pneumatická korekce je prováděna pomocí kyvadélek a elektrická korekce je prováděna pomocí elektrolytické libely. Všechny tyto způsoby opravy využívají tíhového zrychlení.

Libela je jednoduchý přístroj, který známe pod názvem vodováha, a určuje vodorovný (v některých případech i svislý) směr. V případě korekce umělého horizontu se využívá dvouosá elektrolytická libela. Tato libela provádí opravu sklonu pomocí proudů do momentových motorů. Tyto motorky zajišťují jak podélnou tak příčnou opravu a nachází se na vnitřních rámečcích.

### 10.3 Částečný závěr

Ve výukovém videu lze vidět, jak vypadá odečítací plocha přístroje, která se skládá z modré a hnědé barvy. Odečítání přístroje pomocí břevna nám určuje, zda se letoun nachází ve vodorovné poloze, nebo je ve fázi stoupání či klesání, nebo provádí náklon či zatáčku. Na internetových stránkách je odkaz na televizní pořad České televize PORT, kde se jeden díl nazývá kouzlo gyroskopů a popisuje chování gyroskopů. <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10121359557-port/michaelovy-experimenty/vyhledavani/gyroskop/487-kouzlo-gyroskopu/>. Toto video pomůže zjednodušeně pochopit gyrovertikálu a gyrohorizontálu.

## 11 ZATÁČKOMĚR

Zatáčkoměr je letecký přístroj, který využívá vlastnosti precesního pohybu setrvačníku zavěšeného v rámečku (gyroskop se dvěma stupni volnosti). Zatáčkoměr ukazuje úhlovou rychlost otáčení okolo svislé osy letadla. Výhodou zatáčkoměru je jeho malé zpoždění. Jednoduchost tohoto přístroje zaručuje vysokou spolehlivost.

Nejdříve se musíme seznámit s vlastnosti setrvačníku se dvěma stupni volnosti. Vysvětlíme si to na principu odmontovaného kola z jízdního kola. Pokud kolo držíme za hřídel v rukách, roztočíme ho a chceme ho udržet ve vodorovném směru, kolo se začne naklánět do strany s určitou silou. Síla naklánění je tím větší, čím rychleji kolem natáčíme okolo osy rámu a čím rychleji se kolo točí kolem své osy otáčení na hřídeli. Pohyb naklánění kola se nazývá precesní pohyb nebo zkráceně precese. [1]

### 11.1 Princip a konstrukce zatáčkoměru

Zatáčkoměry měří úhlovou rychlost  $\Omega$  otáčení letounu kolem jeho svislé osy. Osa rámu je ve směru podélné osy letadla. Gyroskop se otáčí v horní části ve směru letu. Při zatáčení letounu je gyroskop vychylován z roviny otáčení a dochází k jeho precesnímu pohybu. Při zatáčce vpravo se gyroskop vyklání vpravo a obráceně.

Stupnice zatáčkoměru je obvykle ve stupních za sekundu. Na zatáčkoměru je napsáno „2 min“, to znamená, že pokud bude ručička na této značce, vykoná letadlo 360 ° zatáčku za dvě minuty.

V dnešní době se zatáčkoměr běžně nepoužívá pro let podle přístrojů, ale spolu s dalšími přístroji slouží jako záložní zdroje informací, v případě vysazení umělého horizontu.

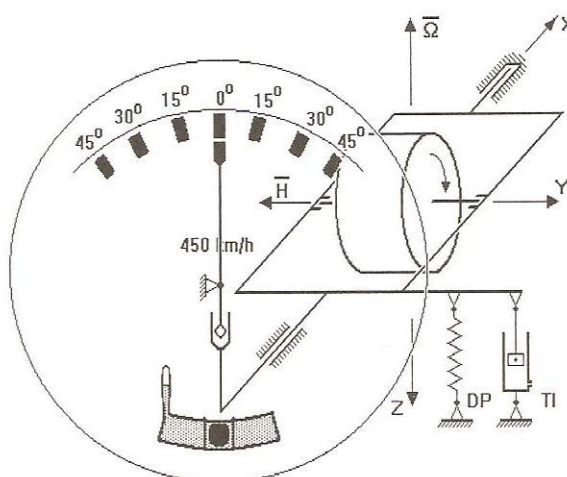
### 11.2 Relativní sklonoměr

Relativní sklonoměr je jednoduchý přístroj, který je obvykle uložený v pouzdře zatáčkoměru. Tento přístroj je tvořený prohnutou skleněnou trubicí a kuličkou. Trubice je naplněná nemrznoucí kapalinou a zčásti vzduchem, aby při teplotním roztažení kapaliny trubice nepraskla. V trubici je dále černá kulička, která se pohybuje stejně jako kyvadlo. Rovina dráhy kuličky je kolmá na podélnou osu letadla. Kulička se nachází ve středu trubice tehdy, když výslednice všech působících zrychlení v rovině kolmé na podélnou osu letadla má směr osy kolmé. Střed trubice je ohraničený dvěma ryskami.



### 11.3 Princip a konstrukce sklonoměru

Pomocí kuličky pilot určuje koordinaci zatáčky, tedy to, zda je zatáčka prováděna bez skluzu či výkluzu. Podmínkou pro zaletění správné zatáčky i normálního přímočarého letu je, že se kulička bude nacházet ve středu. Relativní sklonoměr je v žargonu pilotů nazýván „kulička – ručička“.



Obr. 11.1 Schéma kombinace zatáčkoměru a sklonoměru [3]

### 11.4 Částečný závěr

Ve výukovém videu je vidět, jak se zatáčkoměr chová při letu a zejména zatáčení letadla. Zatáčkoměr zároveň indikuje provedení zatáčky a náklonu letadla. Z odečítacího zařízení vyplývá, zda se jedná o pravotočivou či levotočivou zatáčku.

## 12 MAGNETICKÉ KOMPASY

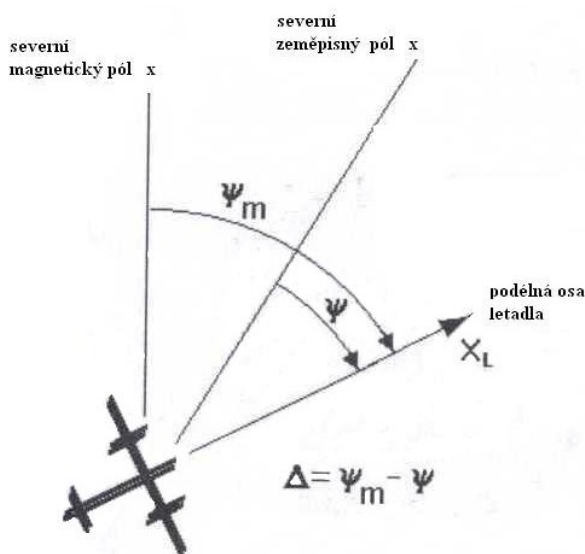
Kompas je zařízení určené ke zjištění směru k severnímu magnetickému pólu. První zmínka o kompasech pochází ze 4. století ze starověké Číny. Jednalo se pravděpodobně o kus magnetu, který plaval na dřevěné podložce v nádobě s vodou.

Magnetické póly Země neleží v místech, kde se nachází póly zeměpisné. Magnetické póly jsou posuny a neustále svou polohu mění.

### 12.1 Magnetismus Země

Začátkem 17. století zjistil anglický fyzik William Gilbert, že země představuje obrovský magnet, který vytváří kolem Země magnetické pole. Místa, kde se sbíhají siločáry vytvořené pohybem železného jádra, se nazývají magnetické póly. Magnetickou deklinaci objevil Kryštof Kolumbus na cestě do Ameriky, kdy osa střelky, která svírá se spojnicí zemského severu a jihu určitý úhel, a tento úhel se během cesty měnil. Magnetická **deklinace** označuje tedy úhlový rozdíl mezi směry zeměpisného a magnetického severního pólu Země. Na obrázku 12.1 je deklinace znázorněna úhelem  $\Psi_m$ .

Kompas ukazuje vodorovný směr, tato informace je zavádějící, svádí to k tomu, že siločáry jdou po povrchu Země stejně jako poledníky. Ale skutečnost je taková, že v našich zeměpisných šířkách magnetické siločáry vstupují do země pod úhlem přibližně  $66^\circ$ . Tato odchylka od vodorovné roviny se nazývá inklinace. **Inklinace** je v malých zeměpisných šířkách malá a v okolí magnetických pólů je extrémně velká.



Obr. 12.1 Složky geomagnetického pole [2]

## 12.2 Princip a konstrukce kompasu

Základem tohoto přístroje je zmagetizovaná stříelka, která se otáčí kolem do kola s magnetickými siločarami zemského magnetického pole, přičemž její magnetické póly jsou vůči zemským orientované opačně. Druhou částí přístroje je deska, na které je vyobrazena směrová růžice, ve středu této růžice je umístěna zmiňovaná stříelka.

Hodnotu, kterou magnetický kompas ukazuje je kurz – heading, a udává se ve stupních. Stupnice je rozdělena po 5°, dílky jsou číslovány každých 30°. Magnetická růžice je rozdělena na 360°. Pro sever N odpovídá 360°, pro východ E odpovídá 90°, pro jih S odpovídá 180° a pro západ W odpovídá 270°. Odečítají se vždy 3 čísla, takže například 080 – nula osm nula.

V polovině minulého století byly zkonstruovány tak zvané indukční kompas, které nahradili chybující kompas s otočným magnetickým systémem. Indukční kompas se dnes vyrábí jako dálkové, gyroindukční kompas, anebo jsou součástí kurzových systémů.



Obr. 12.2 Magnetický kompas [10]

## 12.3 Částečný závěr

Magnetický kompas je pro pilota důležitý tím, že určuje směr letu. Ve výukovém videu lze v prvních minutách vidět na magnetické růžici, že se letoun nachází na kurzu 220°, z tohoto údaje je pojmenovaná dráha na letišti Leoše Janáčka jako odletová dráha 22. Dráha je tedy ve směru na jihozápad. Když na tuto samou dráhu přistáváme ve severovýchodním směru, má dráha označení 04 a nachází se na kurzu 040°.

## 13 OSTATNÍ PALUBNÍ PŘÍSTROJE

V této bakalářské práci se nachází jen hrst základních palubních přístrojů, na kterých je důležité vysvětlit princip a chování. V letectví se však přístrojů používá mnohem více. Tato kapitola vytváří přehled známých i méně známých přístrojů.

- Absolutní sklonoměr – umělý horizont, který za špatné viditelnosti určuje polohu letadla za nerovnoměrného letu
- Akcelerometr – přístroj, který měří vibrace nebo zrychlení v určitém směru
- Anemometr – větroměr (z řeckého anemos=vítr) slouží pro měření rychlosti a směru větru
- Aneroid – přístroj se využívá k měření současného stavu atmosférického tlaku
- Barometr – přístroj se využívá k určování přesného barometrického tlaku vzduchu
- Barograf – registrační barometr pro záznam časového průběhu atmosférického tlaku
- Derivometr – zjišťuje snosový úhel (úhel mezi podélnou osou letadla a dráhou letadla, promítnutou na zemský povrch) za letu
- Chronometr – přesné hodiny
- Indikátor úhlu náběhu – zařízení ukazující úhel náběhu křídla letadla
- Kompas – přístroj určující světové strany
- Libela – slouží k určování vodorovného směru
- Machmetr – ukazuje Machovo číslo letu (poměr mezi relativní rychlostí letadla a rychlostí zvuku)
- Manometr – měřidlo tlaku – konkrétní názvy jsou barometr, aneroid. Známý je tlakoměr brzd, oleje a paliva.
- Oktant – astronavigační přístroj na určení polohy letadla
- Otáčkoměr – přístroj sloužící k měření otáček motoru či jiných rotačních zařízení
- Palivoměr – přístroj sloužící k měření množství paliva v nádržích
- Pitotova trubice – snímač tlaku
- Radiokompas – udává zaměření polohy letadla vzhledem k ose letadla
- Rychloměr – indikátor rychlosti letadla
- Selsyn – prvek dálkového elektrického přenosu úhlových výchylek určitého orgánu na ukazatel
- Sextant – přenosný přístroj pro měření úhlové vzdálenosti dvou těles, nebo úhlu výšky hvězd nad horizontem

- Spotřeboměr – indikátor okamžité nebo průměrné spotřeby paliva
- Variometr – zařízení pro indikaci rychlosti, kterou letadlo mění výšku (stoupání, klesání)
- Výškoměr – zjišťuje výšku objektu nad povrchem země
- Zatačkoměr – indikuje úhlovou rychlost otáčení letadla okolo svislé osy

## 14 VÝUKOVÝ PROGRAM

Výukový program by měl být software, který slouží studentům k samostudiu, případně by měl být využit přímo ve vyučování. Měl by být jednoduše ovladatelný, přehledný a plný informací. Výukový program má za úkol naradit učitele ve všech směrech. Studenty by měl motivovat ke studiu, předat jim znalosti a následně získané znalosti zkontrolovat testem nebo kontrolními otázkami.

Výukový program je klíčovou součástí mé bakalářské práce. Pomocí výukového programu chci letecké přístroje přiblížit studentům leteckých oborů. Výukový program ve formě internetových stránek se skládá z výše uvedených kapitol a je doplněn videoklipy a obrázky. Výukový program jsou internetové stránky, na kterých jsou umístěny výukové texty. Internetové stránky obsahují i další odkazy. Vše je uloženo na CD nosiči.

### 14.1 HTML dokument

HTML kódy je způsob pro tvorbu webových stránek, který může být psán v libovolném textovém editoru. Já jsem využila jako textový editor (zdroj) poznámkový blok, který je nainstalován v každém počítači. V tomto poznámkovém bloku jsem vytvářela pomocí HTML jazyku dokument, který lze spustit v podobě internetových stránek ve většině prohlížečů. HTML jazyk jsem se naučila ovládat pomocí jednoduše psaných internetových stránek [www.jakpsatweb.cz](http://www.jakpsatweb.cz). Po ovládnutí těchto kódů je možné jednoduše tvořit strukturu stránek, ovlivňovat styl a barvu písma, vkládat obrázky a odkazy nebo členit text do různých kapitol.

Takto vytvořený HTML dokument lze spustit pomocí startovacího souboru (soubor pojmenovaný start) v internetovém prohlížeči Windows Internet Explorer či Mozilla Firefoxu. HTML dokument je přiložený na kompaktním disku na zadní straně bakalářské práce.

### 14.2 Microsoft Office PowerPoint

Pro vytvoření prezentace, která je součástí výukového programu, jsme využila běžný software od společnosti **Microsoft** a to **PowerPoint**. Pomocí tohoto nástroje jsem vytvořila sérii stránek s přehledně poskládanými informacemi a obrázky. Ovládání prezentace je jednoduché a poměrně zažité. PowerPoint umožňuje prezentace spouštět, tisknout a libovolně upravovat (pokud prezentace není chráněna heslem).

### 14.3 Windows Movie Maker

Windows Movie Maker program dostupný pro systém Windows. Je to nástroj, pomocí kterého jsem upravila videozáznam z letu nad letištěm Leoše Janáčka. Tento program umožňuje vkládat titulky, komentáře, přechody, efekty, zpomalit nebo zrychlit natočené záběry. Já jsem celé video spíše okomentovala. Tato forma mi přišla nejjednodušší pro vysvětlení a popsání daného problému.

### 14.4 Microsoft Flight Simulator

Jeden z odborných předmětů ve studijním programu Technologie letecké dopravy je předmět Praktikum z letecké techniky. V tomto předmětu jsou simulovány lety v různých letadlech, za různých meteorologických podmínek. Hra **Microsoft Flight Simulator** obsahuje mnoho funkcí a schopností, které z ní vytváří ideální doplněk k teoretickým znalostem. Hra umožňuje studentovi získané teoretické znalosti prověřit v praxi. Tyto předměty by měli ve výuce probíhat současně a měly by se navzájem doplňovat. Student by měl mít možnost získat zpětnou vazbu jak v teoretické, tak v praktické části výuky.

Široký výběr letadel Flight simulátoru, od jednomotorových až po proudová letadla, poskytuje řadu zkušeností a dává studentům možnost procvičit si mnoho typů avioniky a zobrazování přístrojů.

### 14.5 Typy paměti

Každý člověk má jiný druh paměti, a proto bude výukový program obsahovat co nejvíce podnětů k zapamatování. Přejít mezi rozumovým a smyslovým poznáním je představivost. Jako rozumové poznání chápeme nasbírané znalosti z různých skript, učebnic a knih. Smyslové poznání je doplněno o výchozí obraz, barvy a pohyb například daného leteckého přístroje. Plnohodnotné znalosti vznikají na základě slovního popisu a grafického nebo symbolického zobrazení.

Paměť je schopnost jedince získat, udržet a používat informace U každého člověka je typ paměti jiný a není předem nijak definovaný, každý jedinec je vybaven všemi typy paměti, jen není známo, v jakém poměru je těmito paměťmi vybaven. Proto by měl člověk probíranou látku poslouchat, co kdyby byl náhodou sluchový typ a v případě zrakového typu by si měl student kreslit schémata a obrázky.

### **14.5.1 Auditivní typ paměti**

Auditivnímu typu (sluchovému typu) paměti stačí, když probíranou látku slyší ve výkladu od učitele. Jedinec s touto pamětí si zapamatuje slova, celé věty, příběhy a melodie. Ve výkladu je možné použít prezentaci, která je vytvořená jako část výukového programu, příběh nebo výstřižek z leteckých pořadů spojený s učivem. Do této skupiny lidí patří zhruba 20 – 30% studentů.

### **14.5.2 Vizuální typ paměti**

Vizuální typ (zrakový typ) paměti, je taková paměť, kdy člověk upřednostňuje barevné zvýrazňování textu, sledování názorných schémat a obrázků. Pamatuje si interiéry (v našem případě například kabinu letounu) a situace (například zaletěný let, pohyby přístrojů).

Student se potřebuje do výuky nějakým způsobem zapojit, ať už aktivitou, pohybem nebo dotekem. Jako cvičení by mohla být brána v úvahu laboratorní cvičení a vyzkoušení simulace letu v počítačové hře. Nebo zapojit kolektiv do různých her, například při výuce gyrostatického principu přinést do výuky tradiční dětskou hračku Káču.



## 15 ZÁVĚR

Ve způsobu měření pomocí leteckých přístrojů se v principu neudála během mnoha let téměř žádná změna. Vzhledem k vývoji v letectví jsou přístroje zhruba stejné, k pár základním přístrojům nám stačí znát dva popřípadě tři údaje (statický tlak, celkový tlak a teplotu). Zobrazování naměřených hodnot se v některých případech pozměnilo do podoby CRT nebo LCD obrazovek, ale zobrazovaná data jsou stejná jako u dřívějších generací přístrojů.

### 15.1 Zhodnocení cílů

Cílem této práce bylo vytvořit funkční výukový program a sepsat část textovou. Teoretickou část, která je zpracovaná v této bakalářské práci, jsem podle mého názoru splnila. Text je rozdělený do dvanácti kapitol, kde první kapitola je spíše úvod do dané problematiky, a shrnující kapitola podává jakýsi přehled o ostatních palubních přístrojích. Praktická část této bakalářské práce je uložena na kompaktním disku. Disk obsahuje vytvořenou prezentaci, HTML dokument a video, které je doplněno o údajích, které se dají z přístrojů odečítat.

Prezentace výukového programu je vytvořena v programu **PowerPoint**, který je všem známý a je jednoduše ovladatelný. **HTML dokument** je jednoduchý, protože kvalita vytvořených stránek se odvíjí od schopností a znalostí HTML kódu autora. Jelikož cílem bakalářské práce je vytvořit kvalitní výukový program, záleželo mi spíše na kvantitě výukového textu než na samotném vzhledu webových stránek. Video do výukového programu jsem vytvořila v programu **Windows Movie Maker**, s kterým se jednoduše pracovalo. Tento výukovým program i s touto prací najdete ve formátu pdf. na zadní straně desek bakalářské práce.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Tůma, J.: *Letecké palubní přístroje*. Naše vojsko – svaz pro spolupráci s armádou, Praha 1960
- [2] Kulčák, L. a kolektiv: *Učebnice pilota vrtulníku PPL(H). Část I*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2009, ISBN 978-80-7204-627-0
- [3] Čížmár, J.; Trubač, M.: *Přístrojové vybavení (022)*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2006, ISBN 80-7204-445-1
- [4] Keller, L.: *Učebnice pilota 2011: pro žáky a piloty všech druhů letounů a sportovních létajících zařízení, provozujících létání jako svou zájmovou činnost*. Svět křídel, Cheb 2011, ISBN 978-80-86808-90-1
- [5] Draxler, K.; Fábera, V.; Roháč, J.: *Digitální technologie/elektronické přístrojové systémy: studijní modul 5*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2003, ISBN 80-7204-311-0
- [6] Obrázek pohled na přístrojovou desku [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.fotodoprava.com/let\\_93.htm](http://www.fotodoprava.com/let_93.htm)
- [7] Obrázek cockpit Boeing 737 [online]. [cit. 2013-04-17] Dostupné z: <http://www.transair.co.uk/sp+Cockpit-Training-Posters-Boeing-737-NG-Cockpit-Training-Poster+3572>
- [8] Obrázek průběh MSA s výškou [online]. [cit. 2013-04-17] Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/groups/lis/download/prednasky/EPS1/V%C3%BD%C5%A1ka%20rychlost%20vario.pdf>
- [9] Obrázek Airspeed Indicator Gauge [online]. [cit. 2013-04-17] Dostupné z: <http://dribbble.com/shots/215712-Airspeed-Indicator-Gauge>
- [10] Obrázek kompas [online]. [cit. 2013-04-17] Dostupné z: <http://shop.evektor.cz/zbozi/4406/KOMPAS-C2300SF--COMPASS-.htm>
- [11] Béda, T. *Zobrazení umělého horizontu*. Praha, 2008. Diplomová práce na Elektrotechnické fakultě Českého vysokého učení technického. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karel Draxler, CSc.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

4.1 Dělení palubních přístrojů.....	16
4.2 Palubní desky Boeing 737.....	18
4.3 Palubní deska Zlín – 43.....	18
4.4 Základ gyroskopických přístrojů .....	20
5.1 Průběh MSA s výškou.....	23
6.1 Pitotova trubice.....	25
7.1 Schéma výškoměru.....	28
8.1 Schéma rychloměru.....	31
8.2 Stupnice rychloměru.....	32
9.1 Schéma variometru s tlakoměrnou krabicí.....	35
9.2 Schéma křídélkového variometru.....	36
10.1 Schéma umělého horizontu.....	38
11.1 Schéma kombinace zatáčkoměru a sklonoměru.....	40
12.1 Složky geomagnetického pole.....	41
12.2 Magnetický kompas.....	42